

Online Research @ Cardiff

This is an Open Access document downloaded from ORCA, Cardiff University's institutional repository: <https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/70373/>

This is the author's version of a work that was submitted to / accepted for publication.

Citation for final published version:

Jones, Phillip John ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1559-8984> 2014.
Energy retrofitting of existing housing at community scale: UK experience.
ECGB (Eco-City and Green Building) , pp. 28-35. file

Publishers page:

Please note:

Changes made as a result of publishing processes such as copy-editing, formatting and page numbers may not be reflected in this version. For the definitive version of this publication, please refer to the published source. You are advised to consult the publisher's version if you wish to cite this paper.

This version is being made available in accordance with publisher policies.

See

<http://orca.cf.ac.uk/policies.html> for usage policies. Copyright and moral rights for publications made available in ORCA are retained by the copyright holders.



ENERGY RETROFITTING OF EXISTING HOUSING AT COMMUNITY SCALE: UK EXPERIENCE

社区尺度既有住房节能改造：英国的经验

菲尔·琼斯 / Phil Jones

译 _ 赵波 / Translated by ZHAO Bo

摘要：为了使社区在未来的功能更加完备，必须使其在具备高效、有效的节能及环保效果的同时，保持良好的品质。改造既有住房对于欧盟和英国实现在 2050 年之前减少 80%CO₂ 排放量的政府承诺有着重大意义，本文探讨了能源、法律、潜在和实际的 CO₂ 减少、社会经济学（投资回报、燃料贫困、健康影响、就业刺激等）诸多背景问题，并介绍了多种可能的住宅改造方案。英国威尔士地区 3 个大规模的住宅改造工程被用作节能（采用能源与环境预测模型）、CO₂ 减排及成本分析。两个“全住宅”改造项目也被简要评估，其中一个已经成为长期监测的对象。通过比较一系列不同的改造策略（单一型、复合型以及全住宅型）、成本、实际 CO₂ 减排量以及相关利益等不同方面的数据，表明随着与预期效果相关的节能措施成本的增加，合理的经济回报将更难以实现。应用“浅层”改造方法能够减少 10% ~ 30% 的 CO₂ 排放量，并且有科研基金的资助机会。然而，现阶段并没有可用于大规模整体住宅“深层”改造（60% ~ 80% 减排）措施的科研基金，且改造后的回报也差强人意。

Abstract: In order for our communities to fully function in future they must be maintained in good quality with an efficient and effective energy and environmental performance. Background issues of energy, legislation, potential and actual CO₂ savings, socio-economics (payback, fuel poverty, health impacts, employment stimulus, etc) are discussed. Different potential retrofit strategies for the housing stock are presented. Three large-scale housing retrofit programmes in Wales, UK are analysed for energy savings (using the Energy and Environmental Prediction Model), CO₂ reduction and costs. Two 'whole house' retrofit projects in Wales are also briefly assessed, one of which has been the subject of long term monitoring. Data is compared on a range of retrofit options: different strategies (elemental, multiple and whole-house measures), costs, actual CO₂ reductions and associated benefits. The findings indicate that as the cost of measures rise in relation of the predicted savings, reasonable paybacks will be difficult to achieve. There are funding opportunities for installing 'shallow' elemental measures to reduce CO₂ emissions by 10 – 30%. However, the large scale financing of 'deep' (60 – 80% reductions) funding for whole house packages of measures is not currently available and does not offer an acceptable pay back.

关键词：既有建筑 节能改造 社区尺度

Key Words: Existing Housing, Energy Retrofitting, Community Scale

1 引言

我们的现有住房是未来社区的基本组成部分，使其保持良好的状况，以节能环保的现代方式运行是很重要的。改造既有建筑，减少化石燃料的使用，是许多国家为实现设定的碳排放目标而实施的基本措施。通常住宅能耗是建成环境中能耗产生的主要部分，而改造手段主要包括减少能源需求以及引进低碳或零碳能源。当然在改造过程中，还有社会经济方面的因素需要考虑，例如为居住者尤其是低收入群体，提供经济实惠的供暖；以及为来自改造项目附近社区的人员提供岗位和培训机会。然而，以往的节能改造脱离了监管控制，且主要依赖于房屋居住者们基于自身成本考虑或者依赖政府计划而实施，而这些计划主要与社会弱势群体相关。因而，我们有必要回顾过去在减少碳排放及相应的实施成本方面取得的成果，并思考未来的发展方向。

论文主要论述了近 12 年来，英国威尔士（Wales）实施的几个采用基本节能措施的大规模改造案例研究，包括两个基于“全住宅方法”（‘whole house’ approach）改造的单体建筑案例，其涉及到更为广泛的低碳改造措施。威尔士有较多的老旧房屋，存在相对严重的燃料贫困现象。威尔士已将可持续原则列入政府章程，并且在最

近首次出台了威尔士自己的建筑相关能源法规。尽管其焦点是威尔士地区，但结果仍可被用于全英国和其他致力于大规模住宅建筑改造的国家。在这项工作中，能源与环境预测（Energy and Environmental Prediction, EEP）模型被用来预测大量既有建筑的能耗性能（P Jones, J Williams & S Lannon, 2000）。

1.1 能耗、CO₂ 排放与住宅

英国的 CO₂ 排放量高达 4.6 亿 t，与所有能源的使用有关（国家统计局办公室，2011）。2008 年，欧盟气象与能源方案承诺欧洲将转变为发展高能效、低碳经济，承诺温室气体的排放量在 2020 年前实现较 1990 年至少减少 20%，并且增加 20% 的可再生能源供应（SEC，2008）。在欧盟制定该目标后，英国政府的气候变化法案（H M Government, 2008）承诺在 2050 年前，CO₂ 排放量将较 1990 年减少 80%，作为中期目标 2020 年前实现减少 26%。在 2014 年 3 月，欧盟发表绿皮书（欧盟委员会，2014），建议将减少 40% 碳排放和新增 27% 可再生能源供应作为 2030 年的目标，并附以《碳排放交易以及建筑能源性能指令综述》（欧盟委员会，2002）。

英国的全部能耗和碳排放中，大约 50% 与建筑能耗有关。其中约 28% 属于住宅能耗（Palmer J and Cooper I, 2011），住宅能耗的 61% 为采暖消耗（英国能源统计摘要，2011）。近期一个关于英国的能源需求分析（能源与气候变化部，2012）公布，显示采暖产生的能耗比供电要大得多，在供暖季通常是用电量的 5 倍多。这表明节能减排的潜力主要在采暖方面。因此，减少既有住宅的采暖能耗将成为实现减少碳排放目标的首要任务。

区分能耗与 CO₂ 排放是非常重要的，例如，通过增加保温层可减少建筑的热损失，或者使用更高效的供热系统将会减少能耗，CO₂

排放量则与化石燃料的燃烧有关，它同样能够通过节能措施减少，但是长远之计还是要寻找低碳密集型燃料替换现有燃料，如用天然气替换石油，或者采用低碳或零碳的能源供应系统，如太阳能和生物能。一项“维护结构优先”（fabric first）的方法在减少热损失方面备受青睐，它可以在使用最终低碳能源系统抵消碳排放之前起到作用。

1.2 影响能耗的因素

虽然有提高住宅能源利用率的措施，但是住宅相关的 CO₂ 排放量仍在持续上升。在过去的 40 年中，英国的住宅总能耗增加了大约 12.5%。采暖仍旧是住宅能耗中的主要部分。然而，近几年有迹象表明采暖的能源需求逐渐减少，照明和家电供电的需求则相对上升（能源与气候变化部，2011）。这反映出，随着家电数量的增加，“非常规能耗”将显著增加。采暖能效技术在过去 40 年的改进成效已经被升高的室内气温所抵消，随着全住宅采暖的实现，室内温度平均升高了 6℃（能源与气候变化部，2012）。家庭能耗也受到室外温度的显著影响，例如，由于 2010 年的严冬，全英国能耗较上年增长 13%（英国能源统计摘要，2011），而由于 2011 年的暖冬，该项数据又下降了 22%（英国温室气体排放，2011）。在英国，特别是威尔士，老住宅所占比例相对较高（图 1），由于建设时的保温标准相对较低，老住宅在采暖方面要消耗更多能源。因此它们也是实现更高层次节能减排的潜力所在。

1.3 建筑规范和既有住宅

英国 1965 年便将能效标准写入了建筑规范中，并且希望在 2020 年之前实现所有新建建筑的“近零能耗”（欧盟委员会，2010）。“近零能耗”的定义尽管并未完全明确，但是应当意味着低供热能耗（室内供暖与热水），以及大部分能耗应来自于可再生能源。可再生能源的供应设施可以被整合在建筑设计中或者设置在周边，专为这类建筑考虑，但并不包括输电网中的“绿色”可再生能源，尽管未来在英国，它可能被所谓的“可允许解决方案”（allowable solution）所涵盖。

对于新建住宅，英国建筑标准着眼于提高保温性能指标、改善气密性和选择高效供热系统。图 2 概括了墙体、顶棚和地板 U 值自 1965 年以来的改善（Jones P, 2005），U 值降低意味着隔热性能更好，全年的采暖需求将显著减少。

英国建筑标准规范已经涵盖了既有住宅的改造，其涉及内容包括扩建工程、构件替换以及控制配件和相关服务（批准文件 L1B 部分，2010）。这对全国能源节约方面产生了相当大的影响，并且在 2002 年英国建筑标准修订时预测，通过更新热水器和窗户，在改造既有住宅的过程中将节能 40%（Office of the Deputy Prime Minister, ODPM, 2004）。对于超过 1 000m² 的建筑，欧盟建筑能效指令（European Energy Performance of Buildings Directive, EPBD）要求进行“相应改进”（consequential improvement, 指令 2002/91/EC, 2002），当进行建筑扩建时，建筑总造价在提高整体的能效方面进行相应调配。对于非住宅建筑，标准中也有“相应改进”要求（批准文件 L2B 部分，2010）。未来的标准或许将涉及到既有建筑改造的相应改进。

图 1 英国住房建造时间分布（2005）

图 2 墙体、顶棚以及楼板 U 值自 1965 年以来的改善，以及平均热负荷和损失的减少（Jones P, 2005）

1.4 既有建筑的改造

据估计，自 1970 年以来，如果没有用保温及改进供热效率来节能，英国家庭的能耗将会是现在的两倍左右（国家统计局办公室，2011）。一般而言，改造措施包括阁楼隔热、双层玻璃以及更高效的热水器，这些措施被看作是“容易实现的目标”（“low hanging fruit”）和自然更替。这些措施会使居住者逐步看到成本效益上的好处，不仅仅能提供更好的能效，还能带来更好的热舒适性。

为实现英国 2050 年之前碳排放减少 80% 的目标，改造既有建筑的成本估计将在 2 000 亿到 4 000 亿英镑之间（可持续发展委员会，2010）。尽管可能会有政府的资金支持，但大部分成本很可能会由住户自己承担。实施这些措施的成本会很高，并且会随着 80% 目标的接近而成倍增加。通过一些个体化的改造手段，这些措施可能以“单一型”的形式实施，例如空心墙隔热；或者以“全住宅方法”的形式实施，即整合一系列专门为为之量身定制的措施。图 3 说明了由单一的“浅层”改造手段到“全住宅”的多方面“深入改造”带来的潜在成本增加趋势。一些措施的整合能够带来额外的成本节约，如改善保温能够减少所需的供热系统规模。然而，复合型的节能措施往往符合收益递减规律，因而一个集成措施产生的能源节约量，并不等同于各项措施之和。正如本文稍后所讨论，迄今为止大多数改造项目都是通过单一型的途径完成的，全住宅型的改造方式过于昂贵，对于普通住户来说难以承担。

1.5 燃料贫困

高达 25% 的英国家庭以及大约 41% 的威尔士家庭，都生活在燃料贫困的境况中（消费焦点，2011），因而对于这些家庭来说，经济实惠的采暖要比“全球变暖”来得更加重要。燃料贫困是指一个住户需要花费超过 10% 的收入用于燃料上。任何大规模能效措施应用都应当接受其收益将以改善供暖而不只是节能的方式实现。据估计，通过提高舒适度而进行“成本回收”（“take back”）的方式将占节能措施的 50%，而相对浅层次的节能改造只需要 12%（Lomas K.J.，2010）。不符合建筑标准的住房常常不便于采暖，据估计，每年与之相关的健康问题将花费国民医疗保健系统 25 亿英镑（国家住房联盟 /ECOTEC，2010）。建筑环境对人们的健康和生活质量有着重要影响，其中住房会影响到主要的健康问题，如心脑血管疾病、突发事件和心理健康（Jones P J et al，2007）。因此节能减排不仅仅具有改善家庭能效的好处。

1.6 能效改造的效益

总而言之，既有建筑的能效改造的收益是很有吸引力的，不仅能够降低碳排放，而且能提升住宅舒适度。但是成本问题、节能效果的不确定性以及其他干扰因素，将成为向住户们大规模推广这些措施的主要障碍。下文将通过展示一些不同规模的改造项目的成果进行讨论。

2 大规模改造项目

本节将研究在近 12 年里威尔士实施的 3 个改造项目。
第一个案例是 1998 ~ 2002 年实施的一项研究项目，由英国能源和物理科学研究理事会（the UK Energy and Physical Sciences

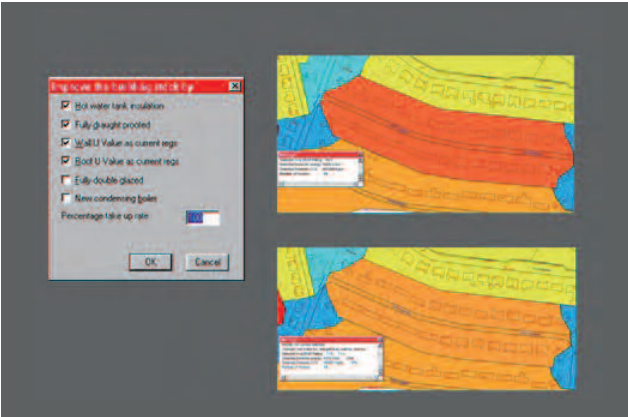
Research Council）以及医学研究理事会（Medical Research Council）资助，旨在发展能源与环境预测模型（EEP 模型）。该案例显示了 EEP 模型是如何在南威尔士的下塔尔波特港（Neath Port Talbot）用来评估住宅的节能改造措施的。

第二个案例分析了大规模改造项目相关的节能潜力及成本。该项目于 2004 年至 2007 年间由下塔尔波特港的威尔士供暖有限公司（Warm Wales Ltd）——一个非盈利的福利企业（Community Interest Company）实施完成。

第三个案例分析了与近 12 个月的“ABRED”（“拯救”之意）重建计划有关的节能潜力与相关成本，这个计划囊括了 2010 年与 2011 年间整个威尔士的住房改造。

2.1 既有住房改造工程中所使用的能源与环境预测模型（EEP 模型）

该研究分析了下塔尔波特港住房的能耗与碳排放。对既有住房



的碳减排来说，在宏观上节能改造效果的预测能力是非常重要的。特别是，确定应用于特定的建筑户型最适宜的一套措施、相关成本及节能减排效果。为了评估升级后既有住房的性能，威尔士建筑学院开发了能源与环境预测模型（EEP 模型，Jones P J, et al, 2000）。EEP 模型在下塔尔波特港被用作能耗测试平台。EEP 模型是基于包括行政区域内所有住房信息的“地理信息系统”（Geographical Information System, GIS）构建的，这个模型采用一个基于英国 SAP（the Standard Assessment Procedure，标准评估程序，SAP 皇家出版社，2005）方法设计的嵌入式子模型来预测住宅能耗。SAP 是由英国政府许可的针对建筑能效等级的标准评估程序，它通过从 1 到 100 的评分来评价能耗性能，分数越高则意味着建筑运行能耗越小。图 4 显示的 EEP 在“邮编”级区域内（从当地所有住房中选取的更大范围的样本）“改造前与改造后”，年均能耗与碳排放量的专题图（上图中较深的阴影部分代表了能耗较高的住房）。从而根据标准菜单以及节能减排预测来选择整合一系列的节能措施（下图中较浅颜色的部分）。

在 2002 年，EEP 模型就被用来评估下塔尔波特港住房大范围的节能潜力，评估对象是室内采暖以及家用热水（Jones P and Lannon S, 2007）。EEP 模型包括了大约 55 000 栋建筑的数据，其中 9 852 栋属于当地建筑。根据建筑形式、年代等主要设计特点对建筑进行分组，从而将这 55 000 栋建筑选作标准的住宅类型。一般来说，在年均能耗的分析中，大约 100 种标准类型的当地建筑便能够代表既有主要住宅建筑。这些标准建筑类型将采用 SAP 方法，在一系列节能措施下进行模拟测试，如墙体和屋顶保温、双层玻璃以及新型热水器（图 4 菜单中所示）。如果当地将家用部分的能效提高到威尔士住房质量标准（the Welsh Housing Quality Standard, WHQS）所规定的，那么根据 EEP/SAP 的分析，估计能耗将会减少 34%，约 390 306 GJ/ 年，CO₂ 排放每年会降低 29%，约 22 800t。由于评估中每栋建筑的改造

图 5 碳排放减少量与成本的关系（使用了能源与环境预测模型）

成本大约需要 2 653 英镑，因此 29% 的碳排放是可行的。图 5 显示了不同年代住宅改造成本与 CO₂ 减排的关系，以约 90 种建筑类型作为样本，反映了不同的建筑类型在相似成本措施下，带来的节能效果。尽管在一些实例中，对老建筑的改造会相对困难，比如那些需要外墙保温的房子，但一般来说，老建筑在单位成本下达到的改造效果更好。这项案例显示了针对不同建筑类型选择合适的改造手段的重要性，使用 EEP 工具，将会在相同成本下获得更好的效果。

2.2 下塔尔波特港的大规模改造项目

下塔尔波特港在 2004 ~ 2007 年间实施了一个大规模的既有建筑高效能改造项目（Patterson J, 2008）。该项目由威尔士供暖有限公司推动，该公司主要提供家庭节能措施，尤其是为那些社区内的贫困阶层，并且在很多情况下为那些因不能实施节能措施而无法得到财政补助的家庭提供帮助，例如在能源方面的支出超过了收入的 10% 的燃料贫困的住户。由于能源效率承诺下设有条款，规定电力和天然气供应商们需要承担实现促进住房高效能改造的责任，因而项目的主要资金来源是电力公司、国家电网公司，还有一些资金则源自地方当局。

“温暖威尔士”项目包括安装空心保温墙、外保温墙、阁楼保温（还有阁楼“装饰”）以及温水箱保温层。同时也包括对于在政府的家庭能效计划（the Government's Home Energy Efficiency Scheme, HEES Wales）中并不具备资格的居住者，项目认定需要更换热水器以及中央供暖系统的居住者，提供相应的服务。

2004 年该地区的住户总数是 61 698，项目对 49 831 户家庭进行了评估，18 832 栋住宅共实施了 28 799 项高效能措施。节能措施方面的总投资约为 800 万英镑，其中大部分措施是阁楼保温以及空心保温墙，而安装新的供暖系统也带来了非常大的效益，特别是对老

图 6 单位减排与成本之间的关系（下塔尔波特港案例）

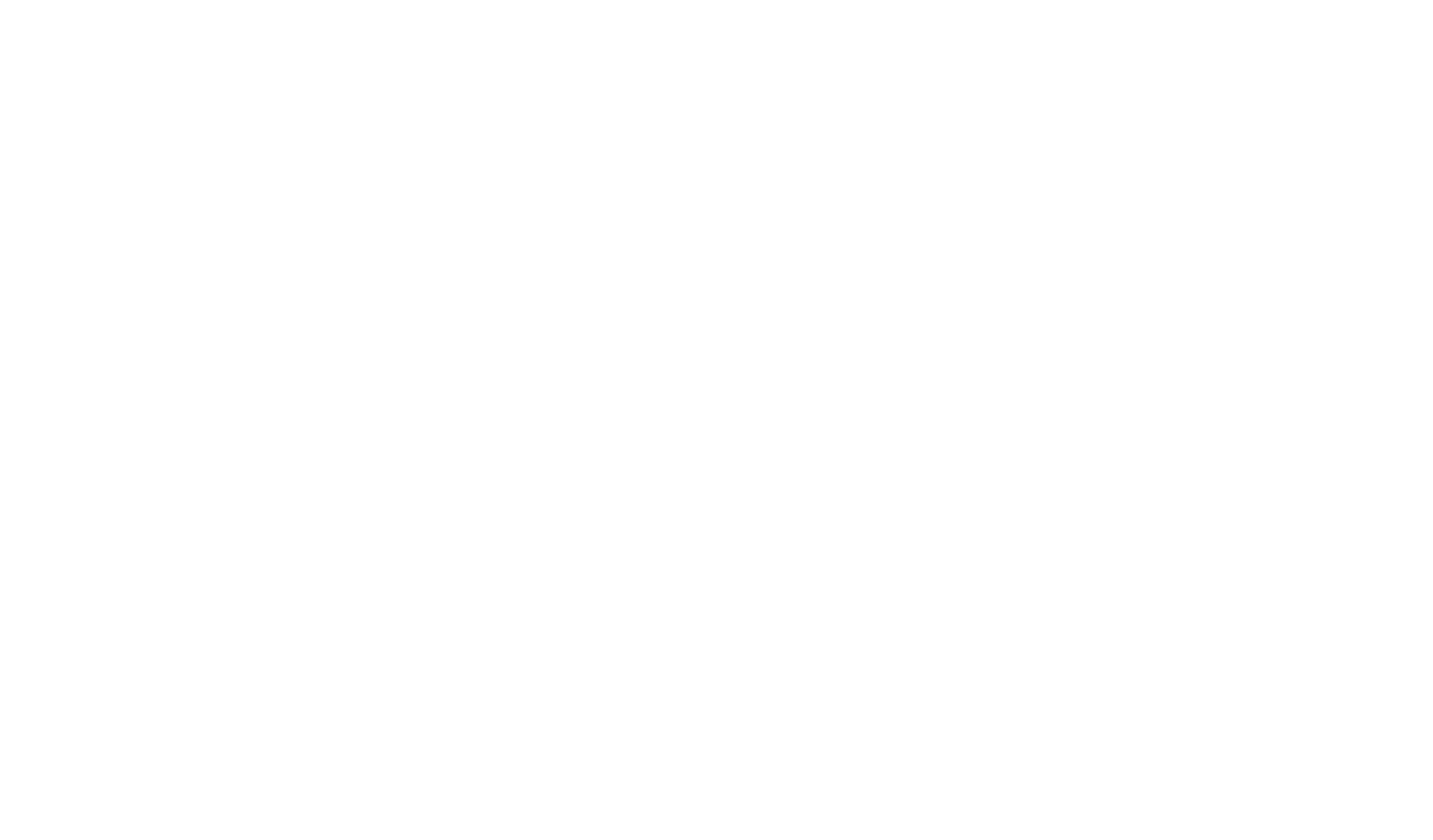


图 7 单位减排量与成本之间的关系（ARBED 计划）

旧小区而言。图 6 归纳了不同年代的建筑中，CO₂ 减排量与成本之间的关系。另外，之前的研究表明，在成本方面老建筑有更大的节能改造潜力。据 EEP 模型估计，该项目带来的节能总量将继续增加，并且实际成本将由威尔士供暖有限公司承担。根据每栋住宅平均减少 9.2% 的 CO₂ 排放计算，总量约为 28 799t。这个数量或许被认为相对较低，然而许多措施是低成本的，根据样本计算的平均成本只有 450 英镑。

这种方法主要是针对“简易处理”的单一型改造措施而言，而非全住宅方法的改造。该项目产生了许多积极成果，大约 2 305 户家庭摆脱了燃料贫困的困境。据报道，该项目还带来了其他的好处，例如舒适度和温度的提升，因而通过改善舒适度，这些措施很可能会产生一定程度的“成本回收”，并且也许会影响到之前提到的 9.2% 的碳排放减量。据称还有其他的好处，包括减少燃料支出和提升幸福感。该项目提供了 54 个新的就业岗位，127 名工人得到了培训机会。这表明，大型项目中利用大规模政府干预带来的机遇融入其他社会经济活动的重要性。

2.3 威尔士住宅改造项目：ARBED

“ARBED”是威尔士政府实施的重建计划，旨在改善威尔士的住宅节能表现，特别是那些能效低下的家庭，并减少燃料贫困对威尔士家庭的影响。同时，该项目旨在为威尔士居民提供就业机会并为当地带来商机。ARBED 计划最初立项以“全住宅”方法来实施高效能措施，并且建立威尔士建筑可再生能源供应综合系统。ARBED 计划于 2010 年 4 月开始启动并持续了 12 个月，投资大约 6 千万英镑，总计超过 6 000 个家庭被纳入该计划中。

威尔士供暖有限公司受 7 个独立注册的社会业主以及西南威尔士地方当局的委托实施 ARBED 工程。该项目涉及的住宅总数为 1 147，



图 8 各项措施的 CO₂ 减排量与成本比较



内墙保温石膏板	U 值 0.19
屋面保温	U 值 0.19
非 pvc 三层玻璃窗	U 值 0.90
气密性	2 m ² /(m ² h)
具有热量回收功能的机械通风系统	——
分时分区温控	——
地源热泵	——
太阳能真空集热管	2.88m ²
光伏电池板	2 kW _{hp}
通过扩建获得更多居住空间	——

图 9 威尔士纽波特的低碳改造项目

已经为 86 项旨在减少 80% 碳排放的全住宅改造计划提供资金。同样也有一些地方计划，如由斯特劳德区（Stroud District Council）议会提出的“目标 2050”计划，对 10 栋住宅投资改造，预计平均成本为 22 902 英镑，实现平均 58% 的减排目标（斯特劳德区议会，2011）。也许现在看来该计划成本高昂，但是对于了解如何解决既有住房改造困难以及最终降低成本有着重要意义。下文将介绍两栋威尔士住房的改造案例，其中一个是在技术战略委员会项目的资助下进行的，另一个则是由地方政府资助的。

3.1 阳台改造住宅：特恩斯特尔，纽波特（Turnstiles, Newport）

特恩斯特尔低碳改造项目位于威尔士的纽波特（图 9），由威尔士建筑学院主持。住宅进行了全方位的改造，节能改造、空间改造，包括起居室扩建产生的花销总计约为 70 000 英镑。在整个改建工程中房屋仍然可以使用。预计 CO₂ 排放将减少 83%，从改造前的 103kg/m²/ 年降至 17kg/m²/ 年。2011 ~ 2012 年供暖季的最初能耗数据（由威尔士建筑学院监测）显示，这些改造造成的碳排放减少量为 74%。该示范项目提供了大量有用的信息，不仅包括低碳技术的性能，还包括翻新实施过程中的问题以及相应成本。

3.2 联排房：彭赫瑟堡（Penrhiwceiber）

第二个威尔士既有住宅的改造项目位于彭赫瑟堡，是由威尔士建筑研究中心（Building Research Establishment, BRE Wales）主持（图



新门、窗	U 值 1.2
内部实心墙前后保温板，30mm 硬质聚氨酯泡沫	U 值从 2.1 降至 0.28
楼面隔热板	U 值 0.23
保温地板	U 值 0.23
保温屋顶	U 值 0.20
增加气密性	5m ³ /h/m ²
新的热水器	能效高达 90%
太阳能集热器	4m ²

图 10 威尔士 Pentrceiber 的低碳改造措施

10）。该项目涉及到了—排 5 栋住宅的翻新。项目前期年均燃料费用大约在 1 000 ~ 1 500 英镑左右，且大多数住户都处于燃料贫困状态。这些住宅被认为“难以改造”，因为它们建造时采用了石砌实墙，并且已经采用了内墙保温。该项工程预计能够实现减少 60% 的碳排放，成本大约为 25 000 英镑，其中包括建筑室内高标准的全面改造。

上面的两个案例都显示了全住宅改造与改善建筑基本方面相结合带来的好处，这将整体提升生活品质。不过其成本相对较高，从 25 000 英镑可能减少到 60% 的 CO₂ 排放量，到 70 000 英镑达到减少 80% 的 CO₂ 排放量。由于第一个例子中实际减排量与模型预测的误差（74% 相比 83%），因此对于全住宅改造而言，任何提升舒适度方面的“成本回收”都比单一手段对于减排产生的影响更小。不过这是单一建筑的案例研究，其结果应在本背景下加以解读。

4 项目成本与 CO₂ 减排效果的讨论

图 11 总结了排除该时期通货膨胀因素，上述项目的成本与 CO₂ 减排量的对比。其中包括大规模改造项目和全住宅改造工程（包含斯特劳德的项目结果），这些结果将分为 3 组进行对比。

第 1 种是单一型“浅层次”的改造，成本大约为 6 000 英镑（在很多案例中更少），能够实现 10% ~ 30% 的 CO₂ 减排量；第 2 种是复合型的改造，花费大约为 8 000 ~ 14 000 英镑，能够实现多达 40% 的 CO₂ 减排量，这种手段大多是外墙保温以及能源系统改进的结合；第 3 种是全住宅改造，CO₂ 减排量达到 80%，但是花费的成本则高达 70 000 英镑。



图 11 成本与所有项目的减排量（注：数据来自图表 8、9 和 10，以及两个威尔士全住宅改造案例，斯特劳德的数据结果也包含在内，成本数据已经过修正）

因此，较低的成本也能够带来显著的节能减排效果，但当 CO₂ 减排量达到 30% ~ 40% 时，成本将急速上升，尽管看来主要成本增量在超过 60% 的 CO₂ 减排量以上才更加明显。

表 1 为这 3 种大规模改造项目的结果。第 1 种和第 3 种在同等比例的节能上成本消耗有很大不同，这在很大程度上取决于第 3 个案例中的外墙保温做法。

5 结论

如前文所述，威尔士的改造工程有显著的减排成果，同时还能在其他方面有着积极的影响，比如有助于改善人们的健康及生活品质。文中所述的案例显示，为了在符合成本效益的情况下进行大量的住宅改造，主要采用了单一型方法。安装设施相关的成本多少不一，从“浅层”改造方式的几百英镑到深层次全住宅改造的 70 000 英镑。全住宅改造的成本及其他影响因素，被认为是对大量既有住宅进行改造的主要阻碍。因而，以现有的财政计划来看，在 2050 年之前实现 80% 减排的目标是很困难的。当然，随着改造工程的增加，相应成本或许会降低，另外能源的价格也很可能上升，这将推动更高标准的改造需求，同时对住户实施节能措施带来更大的积极性。然而，这种迄今为止通过单一方法在许多大规模改造工程中所采用的“容易实现措施”，除非成本收益平衡产生显著变化，否则后续的改造工程将很可能被证明是过于昂贵的。可能会产生依托建筑规范的新融资模式需求，从而推动大规模的全住宅改造。

对老旧住宅与空置房屋的关注应当能够产生更多的节能效果，并可为作为普通房屋标准组成部分的“全住宅”改造提供机会。英国政府最近将实心隔热墙认定为一项主要的改造指标。然而实心隔热墙造价仍然较高，如果希望实现令人满意的投资回报，则必须有额外的财政支持。

针对特殊的建筑类型，优化整合节能手段与可再生能源供应是至关重要的。EEP 模型在上述关于大规模改造工程的分析运用中起到了很大的作用，它帮助我们在考虑成本的同时获得最大程度的节能减排效果，并且针对特殊建筑类型进行适当的改造措施整合。然而，EEP 模型在能耗性能评估上使用的现有数据基于英国政府的 SAP 工具，还有一些“使用中”的因素造成了实际预测时的缺陷，特别是实心隔热墙措施，需要进行更进一步的研究才能够进行更好的评估。

一定程度的“成本回收”现象将会存在，特别是在那些更多采用单一型的大规模改造项目中，它们的目标群体主要是燃料贫困的家庭。对他们来说，一定程度的节能意味着经济实惠的采暖。这应当被看作是改造项目的额外好处。但是这种在改进舒适度方面的“成本回收”可能对于全住宅改造没有什么影响，因为在许多案例中，全住宅改造将由相对富裕、能够承担采暖费用的业主实施完成，从而更有可能实现全面节能效益。

全住宅改造还带来了改善建筑各方面质量、提升生活品质等额外好处。“温暖威尔士”的项目表明了大规模改造项目结合其他社会经济活动的重要性，如利用大规模政府干预手段带来的机遇，提供就业岗位、创业公司、培训机会以及利润咨询服务。这些额外活动带来的成本收益通常并不包括在改造项目的收益中，未来他们或许作为政府财政支持的更佳目标。住房改造的贡献并不是实现英国 2050 年减排目标的单一途径，随着改造成本的降低以及能源价格的上涨，既有住房可能会再采取一系列的改造措施。虽然，我们仍然需要着力于降低能源需求，但这不仅是减少 CO₂ 排放，还在于提升舒适度。未来，在单体建筑尺度和社区尺度都很可能出现能源供应无碳化的需求（英国政府，2011）。

致谢：对能源和物理科学研究理事会以及医学研究理事会在研发 EEP 模型中的贡献表示感谢。同时对于下塔尔波特港郡级市议会理事会以及威尔士供暖有限公司提供大规模改造案例分析的资金支持，以及技术战略委员会对特恩斯特尔项目的资金支持表示感谢。（更多详细介绍：Jones, P. J., Lannon, S. C. and Patterson, J. L. 2013. 既有住宅改造：有多远，有多贵？. 建筑研究与信息 41(5), pp. 532-550.）

参考文献

[1] Approved Document L1B. Conservation of fuel and power (existing dwellings)[R]. UK Building Regulations, 2010.

[2] Approved Document L2B. Conservation of fuel and power (existing buildings other than dwellings)[R]. UK Building Regulations, 2010.

[3] Consumer Focus. One in four face fuel poverty. [J/OL](2011). <http://www.bbc.co.uk/news/business-16005540>.

[4] DECC. ECUK Table 3.6[R]. Energy consumption in the United Kingdom, 2011.

[5] Department of Energy and Climate Change. The Future of Heating: A strategic framework for low carbon heat in the UK[R]. Crown Copyright, 2012.

[6] Department of energy and climate Change. Digest of UK Energy Statistics[N]. London: National Statistics publication, 2011.

[7] Energy Performance of Buildings Directive [S], 2002.

[8] Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast)[S]. European Commission, 2010.

[9] European Commission Green Paper: A 2030 framework for climate and energy policies[R]. Transparency Register, 2014.

[10] H.M Government. Climate Change Act [S]. London: the Stationary Office, 2008.

[11] Lomas K J. Carbon reduction in existing buildings: a trans-disciplinary approach[J]. Building Research and Information, 2010.

[12] National Housing Federation/ECOTEC. Social Impact of Poor Housing[R], 2010.

[13] Jones P. From Energy Efficient Housing – developments over the last three decades[R]. Aberdeen: World Renewable Energy Conference (WREC), 2005.

[14] P Jones, J Williams & S Lannon. Planning for a Sustainable City: An Energy and Environmental Prediction Model’ [J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2000(43).

[15] Jones P, Lannon S. Energy and Environmental Report for Neath Port Talbot County Borough Council[R], The Welsh School of Architecture, Cardiff University: Centre for Research in the Built Environment (CRiBE), 2007.

[16] Jones P J, Patterson J L, Lannon S. Modelling the built environment at an urban scale- energy and health impacts in relation to housing[J]. Amsterdam: Landscape and Urban Planning, 2007.

[17] Proposals to amend Part L of the Building Regulations, Consultation Documents[S], ODPM, 2004.

[18] Office National Statistics. UK Greenhouse gas emissions, provisional figures and 2010 UK greenhouse gas emissions, final figures by fuel type and end user[R]. Department of

Energy and Climate change, 2011.

[19] Palmer J and Cooper I. Great Britain’ s Housing Energy Fact file[R]. DECC, URN 11D/866, 2011.

[20] Patterson J. Evaluation of An Energy Efficiency Scheme to Upgrade The Existing Domestic Building Stock of A Local Authority Region[R]. Report to Warm Wales Ltd, Welsh School of Architecture, Cardiff University, 2008.

[21] SAP Crown copyright. Revised emission factors for the national calculation methodologies[S]. Technical papers supporting SAP 2009, STP 09/CO201, 2005.

[22] Sustainable Development Commission. The future is local, empowering communities to improve their neighbourhoods[R], 2010.

[23] SEC (2008) 85/3 Document. accompanying the package of implementation measures for the EU's objectives on climate change and renewable energy for 2020[C], Commission Staff Working Document, Impact Assessment, 2008.

[24] Stroud District Council. Target 2050 future proofing homes in Stroud district and beyond[C], 2011.

[25] Technology Strategy Board. Retrofit for the Future, Competition to cut carbon emissions in social housing[R]. H. M. Government, 2009.

[26] UK Greenhouse gas emissions[S], 2011.

作者简介
Phil Jones, 卡迪夫大学威尔士建筑学院教授

收稿日期
2014-04-30